

OPTIMIZACIJA TOPLINSKIH PARAMETARA I KONSTRUKTIVNIH SVOJSTAVA POSTROJENJA ZA STERILIZACIJU MLJEKA

Svetozar STANIŠIĆ
Tehnološki fakultet, Zagreb

Uvod

Toplinska je obrada važan dio tehnološkog procesa pri proizvodnji steriliziranog mlijeka. Kvalitet je mlijeka dobrim dijelom uvjetovan ispravnom toplinskom obradom. U cijeni je koštanja aseptičkog pakovanja mlijeka stavka toplinska obrada vidna.

Zbog toga se toplinskoj ekonomiji i temperaturno-vremenskim parametrima rada postrojenja za sterilizaciju mlijeka treba posvetiti osobita pažnja. S povećanjem se proizvodnje steriliziranog mlijeka u aseptičkom pakovanju povećava interes za optimizaciju toplinske obrade mlijeka pri sterilizaciji mlijeka.

Pregled literature

Mlijeko je idealni supstrat za život i razmnožavanje mnogih mikroorganizama. Za dulje je uskladištenje mlijeka potrebno uništiti mikroorganizme i njihove spore, pri čemu treba nastojati da mlijeko pretrpi što manje promjene.

Ispravno se provedenom sterilizacijom ne smanjuje sadržaj vitamina A, D i B₂, karotina, nikotinske kiseline i biotina. Sadržaj se vitamina B₁, B₆, B₁₂, C, nezasićenih masnih kiselina, lizina i cisteina nešto smanjuje. Međutim, to smanjenje nema bitnijeg uticaja na prehrambenu vrijednost u ishrani odraslih ljudi dok je za ishranu djece značajno (3).

O činjenici da u majčinom mlijeku ima 30—70 mg u litri vitamina C a u kravljem mlijeku 20 mg u litri, treba pri sterilizaciji voditi računa.

Pri sterilizaciji mlijeka istovremeno nastaje uništavanje mikroorganizama i oštećenje fiziološki važnih sastojaka mlijeka. Odlučujući utjecaj na uništavanje mikroorganizama i kemijske promjene mlijeka, pri sterilizaciji mlijeka ima temperatura, na koju se mlijeko sterilizira, duljina vremena do postizanja temperature sterilizacije i duljina vremena održavanja mlijeka na temperaturi sterilizacije.

Sterilizacija je mlijeka optimalna ako su svi patogeni mikroorganizmi te ostali mikroorganizmi i njihove spore u potpunosti uništeni a mlijeko nije promijenilo kemijski sastav i okus.

U načelu se s povećanjem temperature skraćuje vrijeme potrebno za uništavanje mikroorganizama i smanjuju nepoželjne promjene sastava i okusa

mlijeka. Kratkovremenom visokotemperaturnom sterilizacijom mlijeka dobiva se praktički sterilno mlijeko, pri čemu sadržaj biološki vrijednih tvari ostaje praktički nepromijenjen. Dugotrajno grijanje do temperature sterilizacije, dugo zadržavanje na temperaturi sterilizacije i dugo hlađenje nakon sterilizacije uzrokuju okus na zagorjelo mlijeko i ispadanje taloga iz mlijeka za vrijeme procesa i u toku uskladištenja.

S povećanjem % suhe tvari u mlijeku povećava se utjecaj dinamike grijanja i načina grijanja pri sterilizaciji mlijeka.

Efekt je sterilizacije mlijeka jednak pri držanju mlijeka na temperaturi od 138°C za vrijeme od 10 sekundi i pri držanju mlijeka na 146°C za vrijeme od dvije sekunde uz uvjet da je vrijeme postizavanja tih temperatura isto (6).

Budući da se pri grijanju mlijeka sve čestice mlijeka ne nalaze u određenim vremenskim razmacima u istim toplinskim uvjetima potrebno je odrediti optimalne toplinsko-hidrodinamičke uvjete pri kojima je razlika temperatura između čestica mlijeka u struji minimalna, a ispunjen je uvjet skraćivanja vremena grijanja odnosno hlađenja.

Postrojenja se za sterilizaciju mlijeka dijele na postrojenja za posredno i postrojenja neposredno grijanje. U postrojenja za posredno grijanje mlijeka ogrijevni medij predaje mlijeku toplinu preko razdjelne stijenke a u postrojenjima za neposredno grijanje mlijeko se miješa s ogrijevnim medijem (parom) pri čemu se povećava temperatura.

Od postrojenja za posredno grijanje mlijeka značajnija su: cijevni sterilizator firme Stork iz Holandije, pločasti sterilizator firme APV iz Engleske, termovakuumsterilizator VTS firme Alfa Laval iz Švedske, pločasti sterilizator firme Ahlborn iz Zapadne Njemačke i pločasti sterilizator firme Sordi iz Italije i dr.

Od postrojenja za neposredno grijanje značajnija su: uperizator firme Alpura i sterilizator firme Salzer Bros Ltd. iz Švicarske, postrojenje firme Breil i Martel iz Francuske, termovakuumsterilizator VTIS firme Alfa Laval iz Švedske i postrojenje firme Paasch i Silkeborg iz Danske, pločasti sterilizator firme Laguilarre iz Francuske, sterilizator Cherry Burrell iz SAD i druga.

Pri sterilizaciji mlijeka treba uzeti u obzir specifična svojstva mlijeka, prelaz topline i konstruktivna svojstva postrojenja za sterilizaciju mlijeka.

Mlijeko uslijed specifičnih svojstava i biološke prirode reagira na toplinsku obradu na različiti način.

Publicirani su radovi iz kojih proizlazi da je čak mlijeko različitih krava različito toplinski stabilno, te da toplinska stabilnost mlijeka zavisi o tome u kom je godišnjem dobu proizvedeno. Tako je npr. mlijeko dobiveno u proljeće najmanje toplinski stabilno o čemu treba voditi računa pri sterilizaciji mlijeka. Prisustvo većeg broja bakterija u mlijeku koje smanjuju pH destabilizira mlijeko, izaziva okus na zagorjelo i uzrokuje ispadanje taloga pri sterilizaciji mlijeka (2).

pH je mlijeka jedan od najvažnijih faktora stabilnosti. Mlijeko s pH manjim od 6,5 jako je osjetljivo na toplinsku obradu (7). Normalni je pH mlijeka 6,7—6,8.

S povećanjem se viskoziteta mlijeka smanjuje koeficijent prenosa topline i povećava mogućnost zagorijevanja pri sterilizaciji mlijeka.

Za uspješnu je sterilizaciju potrebno mlijeko do sterilizacije predgrijati. Nepravilno predgrijavanje mlijeka često je uzrok nastajanju gela ili pojave mlječnog kamenca u fazi sterilizacije.

Predgrijavanjem mlijeka na temperaturu 82—88°C i održavanjem na toj temperaturi nekoliko sekundi povećava se toplinska stabilnost mlijeka. Mlječni kamenac nastaje na temperaturi koagulacije albumina, pa zbog toga mlijeko predgrijano na temperaturi od cca 90°C i održavano na toj temperaturi dvije sekunde znatno manje izdvaja kamenac pri temperaturama sterilizacije.

Preporučljivo je između predgrijača i sterilizatora ugraditi cijev većeg promjera jer se na njoj nahvata kamenac pa stijenke sterilizatora ostaju čiste.

Bez sumnje je temperaturno-vremenski faktor najvažniji za toplinsku stabilnost mlijeka. Tako su npr. duljina vremenskog perioda grijanja mlijeka i hlađenja mlijeka nakon sterilizacije bitni za toplinsku stabilnost mlijeka.

S povećanjem se temperature mlijeka iznad 71°C naglo povećavaju promjene u mlijeku (1). Međutim, od posebnog je značaja za veličinu promjene u mlijeku duljina vremena kojoj je mlijeko izloženo na određenoj temperaturi. Tako su npr. promjene u mlijeku beznačajne ako se mlijeko izloži temperaturi od 149°C za kraće od jedne sekunde (4).

Para nije pogodna kao ogrijevni medij za predgrijavanje mlijeka jer uzrokuje prigorijevanje mlijeka i taloženje mlječnog kamenca na ogrijevnoj površini izmjenjivača topline.

Oblik i veličina površine poprečnog presjeka cijevi ili kanala kroz koji protiče mlijeko pri posrednom grijanju kao i brzina strujanja mlijeka i toplinsko opterećenje su bitne o čemu treba posebno voditi računa pri grijanju postrojenja za sterilizaciju mlijeka.

Razlika temperatura između graničnog sloja mlijeka (uz ogrijevnju stijenku) i mlijeka u osi struje pri posrednom grijanju može u cijevnim izmjenjivačima topline s velikim promjerom cijevi, pri velikom toplinskom opterećenju iznosi i do 40°C što je bez sumnje loša toplinska obrada mlijeka čije su okus na zagorjelost i promjena sastava mlijeka.

Smanjenjem brzine strujanja mlijeka, povećanjem promjera cijevi odnosno ekvivalentnog promjera kanala kroz koji protiče mlijeko pri sterilizaciji, razlika temperatura između gran.čnog sloja mlijeka i mlijeka u osi struje se povećava.

S povećanjem se tlaka pri grijanju mlijeka smanjuje okus na zagorjelost (5). Toplinski šokovi tj. dovođenje hladnog mlijeka u dodir s vrelim stijenkama izmjenjivača topline pospješuju izdvajanje mlječnog kamenca, zbog čega protusmjerno strujanje medija u izmjenjivaču topline treba redovito primjenjivati.

Vrijeme se postizavanja vrlo visoke temperature može skratiti na dijelić sekunde neposrednim injektiranjem pare u mlijeko ili mlijeka u paru.

Grijalice s parnim injektorom su jednostavni uređaji za kratkovremenu sterilizaciju mlijeka pri visokoj temperaturi. O uspjelosti konstrukcije injektora zavise razlike temperatura u mlijeku i vrijeme postojanja te razlike pri injektiranju pare.

Kolike će promjene nastati u mlijeku pri dovođenju u dodir ogrijevnje pare i mlijeka u fazi sterilizacije mlijeka to prije svega zavisi o tome kako se to ostvaruje.

Pri uvođenju pare u mlijeko mogu nastati mjesna pregrijavanja mlijeka ako mjehurići pare predugo ostaju u mlijeku. Koliko će vremena proći do kondenzacije mjehurića pare u mlijeku to prije svega zavisi o finoći miješanja pare i mlijeka u sapnicama.

Pregrijavanje mlijeka pri uvođenju mlijeka u atmosferu pare ne nastaju (5). Pri injektiranju pare u mlijeko svrsishodnije je primjeniti više manjih

sapnica umjesto jedne veće sapnice jer mjehurići pare za kraće vrijeme nestaju, temperatura je mlijeka izjednačenija i manji je šum.

Zadovoljavajući se rezultati sterilizacije postižu i primjenom parne mlazne pumpe pri injektiranju pare u mlijeko.

Para koja dolazi u dodir s mlijekom pri sterilizaciji mlijeka treba biti posebno pripremljena, pri čemu se voda s kojom se napaja parni kotao ne smije obrađivati se po zdravlje štetnim kemikalijama.

Primjena je cijevnih izmjenjivača topline sa cijevima malog promjera (npr. 6 mm) za sterilizaciju mlijeka nesvrshodna zbog velikih pogonskih troškova i otežanog čišćenja cijevi. Veliki pogonski troškovi nastaju uslijed velikog pada tlaka pri protiskivanju mlijeka kroz izmjenjivač topline. Tako npr. pad tlaka pri strujanju mlijeka brzinom od 7 ms^{-1} kroz cijev promjera 6 mm i dužine 45 m iznosi 10^7 Nm^2 što je bez sumnje mnogo pa se mlijeko kroz takve izmjenjivače topline transportira ponekad homogenizatorom umjesto pumpe. Zahvaljujući velikoj brzini strujanja mlijeka koeficijent prolaza topline u ovim izmjenjivačima topline iznosi $200 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$.

Izmjenjivači topline za sterilizaciju mlijeka pri visokoj temperaturi sa spiralnim kanalima su po efektima slični izmjenjivačima topline sa cijevima malog promjera. Zahvaljujući velikoj ogrijevnoj površini po jedinici volumena i velikoj brzini strujanja mlijeka vrijeme je postizavanja temperature sterilizacije relativno kratko.

Visokotemperaturna se sterilizacija mlijeka ostvaruje i u pločastim izmjenjivačima topline s posrednim grijanjem mlijeka preko razdjelne stijenke. Pločasti izmjenjivači topline za posredno grijanje mlijeka do temperature od 150°C imaju radni tlak od cca $5 \cdot 10^5 \text{ Nm}^2$. Mlijeko se u ovim postrojenjima predgrijava na $60\text{--}82^\circ\text{C}$.

Pločasti izmjenjivači topline imaju relativno veliki koeficijent prenosa topline (cca $3850 \text{ W}^{-2}\text{K}^{-1}$), jednostavni su za upotrebu i održavanje.

Za grijanje se mlijeka do visoke temperature može upotrebiti i električna struja. Postoji više izvedbi postrojenja za grijanje mlijeka do visoke temperature. Zbog visokih pogonskih troškova ova su postrojenja našla neznatnu primjenu u praksi.

Konačna je faza sterilizacije hlađenje mlijeka na temperaturu $80\text{--}65^\circ\text{C}$ pri čemu treba osobitu pažnju obratiti da se sačuva sterilnost mlijeka. Mlijeko grijano posredno se hladi u cijevnim ili pločastim izmjenjivačima topline. Mlijeko grijano injektiranjem pare u mlijeko ili mlijeka u atmosferu pare se hladi u vakuumisparivačima (ekspanzionim posudama) samoisparavanjem. Osnovni problem pri hlađenju mlijeka u vakuumisparivačima je održavanje sterilnih uvjeta pri hlađenju.

Brzim se hlađenjem mlijeka nakon sterilizacije smanjuje okus na kuhano mlijeko. Zbog toga je poželjno mlijeko pri uvođenju u vakuumisparivač sapnicom raspršiti u sitne kapljice čime se trenutačno smanjuje temperatura mlijeka i sa suparom se odnose hlapive tvari koje kvare okus mlijeka.

Doduše mlijeko se može za relativno kratko vrijeme ohladiti i u pločastim izmjenjivačima topline ili u cijevnim izmjenjivačima topline s cijevima malog promjera. Međutim efekt odstranjivanja stranih mirisa iz mlijeka samouparavanjem u vakuumisparivaču i praktično trenutačno hlađenje je nemoguće ostvariti u pločastim ili cijevnim izmjenjivačima topline.

Mlijeko se može homogenizirati prije ili nakon sterilizacije. Osim na kapljice masti efekt se homogenizacije mlijeka nakon sterilizacije sastoji i u djelovanju na suhu tvar tlaka u homogenizatoru od (280—560). 10^5 Nm^{-2} . Pri tome se poboljšava struktura mlijeka a temperatura se mlijeka povećava za cca 8°C . Nakon homogenizacije se mlijeko hladi u pločastim ili cijevnim izmjenjivačima topline.

(Nastavit će se)

MOGUĆNOST PROIZVODNJE ACIDOFILNOG MLEKA U INDUSTRIJSKIM USLOVIMA*

Tihomir MILJKOVIĆ

PIK »Tamiš«, OOUR Mljekara, Pančevo

Acidofilno mleko je kravlje kiselo mleko proizvedeno čistom kulturom *L. bact. acidophilum*, kultiviranom na 37°C .

Dobro i kvalitetno acidofilno mleko treba da odgovara sledećim uslovima:

— da predstavlja potpuno homogenu tečnu masu sa prijatno kiselim ukusom i aromom,

— da sadrži acidofilne štapiće koji energično koaguliraju termički dobro obrađeno mleko,

— acidofilne bakterije treba da budu sposobne da se usele i energično razvijaju u crevima čoveka,

— da sadrži najmanje 200 miliona ćelica *L. bact. acidophilum* u jednom gramu kiselog mleka u momentu distribucije. Ako se upotrebljava — koristi kao lekovito sredstvo, čovek treba da konzumira najmanje jedan litar dnevno, s ciljem da se unese u čovečji organizam 100 milijardi bakterija, i

— acidofilno mleko koje se upotrebljava kao terapijsko sredstvo ne treba da sadrži stranu mikrofloru.

Za kvalitet acidofilnog mleka važno je koliko se dugo čuva i pod kojim uslovima. Ustanovljeno je da se broj *L. bact. acidophilum* vrlo brzo smanjuje kada se čuva na 10°C . Čuvano na 10°C posle 24 sata broj bakterija se smanji za 50%, posle 48 sati za 75%, a posle 72 sata za 90%. Držano na sobnoj temperaturi smanjenje broja *L. bact. acidophilum* bilo je srazmerno sporije. Prema Blanku najbolje je da se acidofilno mleko čuva na 4°C . Drugi autori preporučuju da se čuva na 5°C , ako mu je kiselost preko 0,65%.

Dobiveni različiti rezultati mogu da se objasne nejednakom izdržljivošću acidofilnih R i S oblika prema spoljašnjoj temperaturi. Štapići R tipa gube brže sposobnost da stvaraju kiselinu pri nižoj temperaturi, dok S forme gube brže pri sobnoj temperaturi nego na 4°C . Prema tome acidofilno mleko pripremljeno sa R formama *L. bact. acidophilum* čuva se bolje na temperaturi iznad 10°C , a acidofilno mleko dobijeno S štapićima na $3-4^\circ\text{C}$.

Prirodna svojstva *L. bact. acidophilum* su takva da je potrebno preko 10 sati da bi zgrušao mleko na temperaturi 37°C . Ukoliko se za proizvodnju upotrebi pasterizovano ili sterilno mleko u koje su u toku procesa proizvodnje dospeli nepoželjni mikroorganizmi dolazi u toku inkubacije do potiskivanja *L. bact. acidophilum*.

* Referat sa XIII Seminara za mljekarsku industriju održan od 5 do 7. II 1975., na Tehnološkom fakultetu u Zagrebu.